©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Über die Anwendung eines Elektromotors zur stroboskopischen Bestimmung der Tonhöhe.

Von **Albert v. Obermayer.**

Durch eine Reihe von Versuchen hat Töpler[1] gezeigt, dass man die Schwingungen eines tönenden Körpers vermittelst des stroboskopischen Principes, unter Anwendung durchlöcherter rotirender Scheiben, beliebig verlangsamt wahrnehmen könne, und dass man, bei Einhaltung gewisser Vorsichtsmassregeln, den tönenden Körper während seiner stroboskopischen Schwingungen gerade dieselben Gestaltveränderungen durchmachen sieht, wie während einer wirklichen Schwingung.

Wenn von den Löchern der rotirenden Scheibe immer gerade dann eines am Auge vorübergeht, wenn der Körper einen einmaligen Hin- und Hergang vollführt hat, so erscheint derselbe in Ruhe. Wenn in der Secunde eine andere, mit der dem Tone entsprechenden, in einem einfachen Verhältnisse stehende Lochzahl am Auge vorübergeht, so gelten für die Warnehmung des schwingenden Körpers folgende zwei Regeln:

1. Der schwingende Körper erscheint einfach und ruhig, so oft ein Loch oder eine Spalte am Auge vorübergeht, während der Körper eine ganze Anzahl ganzer Schwingungen macht.

2. Der Körper erscheint n-fach und ruhig, wenn n Löcher oder Spalten am Auge vorübergehen, während er eine Anzahl Schwingungen macht, die Eins oder prim zu n ist.

Es ist durch das Angeführte ein Weg vorgezeichnet, auf dem man, ohne Zuhilfenahme des Gehörs, die Schwingungszahl tönender Körper ermitteln kann. Man hat hiezu nur die grösste Lochzahl aufzusuchen, welche secundlich am Auge vorübergehen

[1] Pogg. Ann. Bd. 128, S. 108 u. 126.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

muss, damit der Körper einfach oder wie es in manchen Fällen, z. B. bei Saiten, bequemer ist, doppelt gesehen werde. In letzterem Falle ist die Hälfte der ermittelten Lochzahl die Tonhöhe.

Die oben angeführten Regeln erklären auch, warum man schwingende Saiten, die harmonische Obertöne geben, in ihrer wahren Gestalt langsam hin- und hergehen sieht, während dies bei belasteten Saiten mit unharmonischen Obertönen nicht der Fall ist. Bei letzteren erscheinen nämlich während des langsamen Hin- und Herganges der Saite, zufolge des Grundtones, diejenigen Partien, welche den Oberton geben, in mehr oder weniger raschen Schwingungen von allerdings kleiner Amplitude begriffen.

Das Schwierigste bei Versuchen mit rotirenden Scheiben bleibt wohl, die Umdrehungsgeschwindigkeit constant zu erhalten. Ich habe versucht, dies nach dem Vorschlage Töpler's mittelst eines Elektromotors zu erreichen, dessen Strom durch ein Quecksilberagometer regulirt wurde. Es gelang mir auf diese Weise, unter Zuhilfenahme eines Zählwerkes, die Schwingungen insbesondere von Platten und Saiten, mit ziemlicher Genauigkeit zu zählen.

Der zu den Versuchen verwendete Elektromotor war bei G. A. Lenoir in Wien gekauft und diente eigentlich dazu, Geissler'sche Röhren in Rotation zu versetzen, während durch dieselben der Funke schlägt. Derselbe besteht aus einem 64 Mm. langen Elektromagnet, an dessen Achse isolirt ein Rad mit vier Zähnen von derselben Breite wie die Zahnlücken sitzt. Auf den Zähnen schleift eine Contactfeder, die zufolge ihrer Elasticität stets gut anliegen muss und durch eine mit dem Rade verbundene beinerne Scheibe verhindert wird in die Zahnlücken einzuschnappen. Es ist vortheilhaft, wenn diese Contactfeder sich nach ihrer Längenrichtung verschieben lässt. Der Elektromagnet bewegt sich mit geringem Spielraume concentrisch zu einem eisernen Ringe, welcher innen vier Zähne hat, die einerseits durch excentrische Kreisbögen, andererseits durch 2 Mm. lange radiale Flächen begrenzt sind. Der Strom ist geschlossen, wenn der Elektromagnet sich ungefähr im zweiten Viertel eines excentrischen Kreisbogens hinter einer radialen Fläche befindet. Er geht dann durch die Contactfeder, das Rädchen zum Elektromagneten

und von da in die Achse. Der Elektromagnet bewegt sich aus dieser Stellung gegen die nächste radiale Fläche hin und nähert sich dabei dem excentrischen Kreisbogen. Während er das letzte Viertel desselben durchläuft, wird der Strom geöffnet, so dass er über die radiale Fläche bis zu einer Stellung hin schwingen kann, wo der Strom wieder geschlossen ist.

Bei einer gewissen Stellung der Contactfeder kann der Elektromagnet, obzwar mit geringerer Geschwindigkeit, nach der entgegengesetzten Seite rotiren.

Die Achse des Elektromagneten ruht in zwei Lagern. Auf die darüber vorstehenden Enden war einerseits die durchlöcherte Scheibe, andererseits eine Rolle aufgesetzt, welche durch eine Schnur ohne Ende mit dem Zählwerke einer Sirene verbunden war; 131 Umdrehungen derselben entsprachen 100 Umdrehungen des Motors.

Während der Beobachtungen erwies es sich vortheilhaft, den Motor möglichst schnell rotiren zu lassen. Die aus dem Einschalten des Zählwerkes entspringenden Störungen, sowie das durch zufällige Stösse der Contactfeder entstehende Zucken der Scheiben, konnten so auf das geringste Mass beschränkt werden.

Weil aus dem angeführten Grunde die Rotationsgeschwindigkeit nur innerhalb enger Grenzen veränderlich war, mussten verschiedene Scheiben benützt werden. Es waren dieselben mit 6, 12, 24; 7, 14, 28; 9, 18, 36; 12, 24, 48 Spalten versehen.

Den Strom zum Betriebe des Elektromotors lieferten vier Daniel'sche Elemente; er wurde durch einen Rheostaten mit Neusilberdraht auf die beiläufige Stärke eingestellt. Das zur genauern Regulirung desselben verwendete Quecksilberagometer hatte folgende Einrichtung: Ein dünner Eisendraht war spiralförmig auf eine Glasröhre aufgewunden, durch Siegellack festgelagert und dessen Oberfläche blank gemacht. Seine Enden waren an dicken Kupferdraht gelöthet und die Löthstellen in den, durch Siegellack verschlossenen Enden der Glasröhre verwahrt. Diese Glasröhre konnte in einer weiteren, zum Theile mit Quecksilber gefüllten verschoben und durch ein, über das Ende der weiteren Glasröhre geschobenes Stück Kautschukschlauch und einen Quetscher festgehalten werden. Der Strom trat von unten in die

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

mit Quecksilber gefüllte Röhre und ging vom oberen Ende des Eisendrahtes zur Batterie.

Da es bei diesen Versuchen darauf ankommt, den Strom continuirlich ändern zu können, so erwies sich das Agometer viel zweckmässiger als der Rheostat, bei dem das Gleiträdchen doch nicht immer ganz gleichmässig anliegt.

Die Regulirung des Stromes muss auch während der Beobachtungen fortgesetzt werden; in der Regel ist der Strom nach dem Einschalten des Zählwerkes etwas zu verstärken. Wenn man scheinbare Schwingungen wahrnimmt, muss man sich stets bewusst sein, ob die Scheibe schneller oder langsamer geht und, da die Änderung der Stromstärke sich erst nach einiger Zeit an der Bewegung des Elektromotors bemerkbar macht, darf dieselbe nur sehr langsam vorgenommen werden. Wenn die Scheibe schneller rotirt, sieht man die stroboskopischen Schwingungen in demselben Sinne vor sich gehen, wie jene des Körpers; wenn die Scheibe langsamer rotirt, im entgegengesetzten. Beim Übergang aus einem Zustande der Scheibe in den andern, sieht man daher auch die Schwingungsrichtung wechseln, wenn dieser Übergang nicht durch eine längere Zeit scheinbarer Ruhe des Körpers geschieht. In einem solchen Falle schliesst man entweder aus dem, was vorangegangen ist, auf den Bewegungszustand der Scheibe, oder man trachtet durch eine kurz dauernde Verstärkung oder Schwächung des Stromes in's Klare zu kommen. Bei einiger Übung bringt man es übrigens leicht dahin, hierüber stets orientirt zu sein.

Das Aufsuchen der Lochzahl, die dem Tone des Körpers entspricht, geschah durch Wechseln der Scheiben, unter Rücksichtsnahme auf die Eingangs angeführten Regeln, bei geringer Änderung der Rotationsgeschwindigkeit.

War z. B. durch die Spaltenreihe n der Scheibe mit n, $2n$, $4n$ Spalten beobachtet und den Körper einfach und nahezu ruhig gesehen worden, so erschien er durch jene $2n$ doppelt, durch jene $4n$ vierfach. Das kann aber sowohl stattfinden, wenn der Ton der Spaltenreihe n mit jenem des Körpers übereinfällt, als auch dann, wenn er 3-, 5-, 7mal tiefer ist. Um hierüber zu entscheiden, wurde durch die Spaltenreihen $3n$, $5n$, $7n$ beobachtet. Diejenige, durch welche der Körper einfach gesehen wird entspricht

dem Tone; ist dies bei keiner der Fall, dann ist die Spaltenreihe n selbst die entsprechende.

Von den zahlreichen Beobachtungen, die ich ausführte, hebe ich die folgenden heraus. Dieselben entsprechen verschiedenen Rotationsgeschwindigkeiten des Motors, dann verschiedenen Tonhöhen und währten 60 bis 100 Secunden. Die Zeitbeobachtungen geschahen an einer Taschenuhr.

	Belastete Saite	Quadratische Platte, Grundton	Kreisförmige Platte, Grundton.
Spaltenzahl	9	24	36
Umdrehungen des Zählwerkes per Secunde	8·07	10·40	9·46
	8·06	10·40	9·51
	8·02	10·44	9·46
	8·06	10·47	9·47
	8·04	10·42	9·54
	8·11	10·35	9·44
	7·99	10·46	9·48
	8·07	10·45	9·51
	7·96	10·47	9·52
	8·06	10·43	9·49
Mittelwerth	8·04	10·43	9·49
Umdrehungen des Motors	6·14	7·96	7·24
Tonhöhe	55·2	191·0	260·6
Mittlerer Fehler in Schwingungen			
einer Beobachtung	0·30	0·69	0·87
des Resultates	0·09	0·22	0·27

Die Fehler in der Zeitbestimmung einer Schwingung betragen beziehungsweise 0·005, 0·004 und 0·004 Secunden. Zur Controle wurde die Tonhöhe der schwingenden Platten noch mit Hilfe eines Monochordes und einer König'schen A Gabel von 435 Schwingungen bestimmt. Es ergeben sich 190·8 und 260·0 Schwingungen.

Schliesslich ist noch zu bemerken, dass die ganze Vorrichtung durch grössere Dimensionen des Elektromotors und dadurch sehr an Brauchbarkeit gewinnen würde, wenn das Zählwerk mit dem Elektromotor in der Weise verbunden wäre, dass

es eine eigene zwischen Spitzen laufende Achse besitzt, welche mit jener des Elektromotors durch Rollen mit Schnur ohne Ende verbunden ist. Das Zifferblatt läge horizontal; das ganze Zählwerk musste sich nach verticaler Richtung verschieben lassen, um die Schnüre spannen zu können.

An Scheiben wären dem Apparate sechs beizugeben, u. z. mit

6, 12, 24	9, 18, 36	12, 24, 48
18, 30, 42	27, 45, 54	36, 60, 72

Spalten. Man könnte dann Schwingungen bis zu 576 in der Secunde zählen, wenn die Amplituden nicht zu klein, oder durch ein vergrösserndes Fernroher sichtbar gemacht worden sind.

Ein solcher Apparat würde sich ferner nicht nur zur Ausführung der meisten von Töpler beschriebenen, sondern auch noch zu anderen Versuchen eignen, wie z. B. zum Abstimmen zweier Seiten aufeinander oder auf ein beliebiges Intervall. Auch als Sirene könnte derselbe benützt werden.